

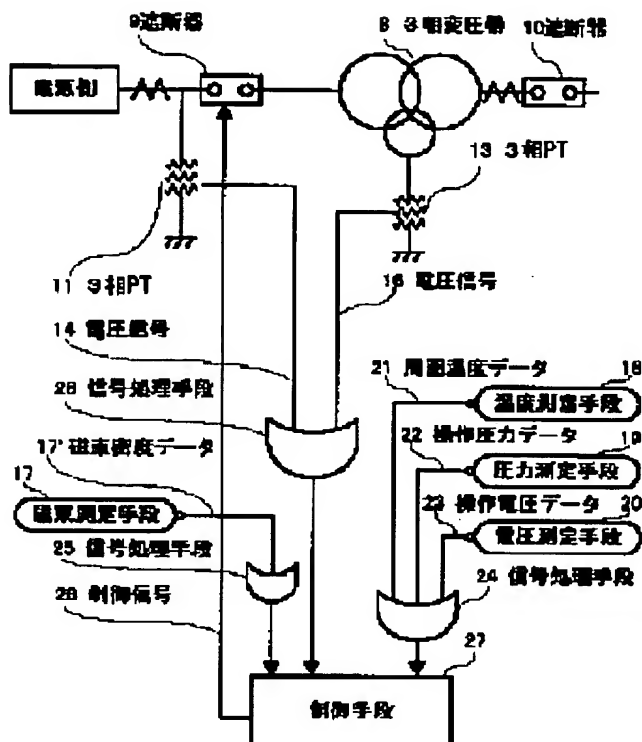
METHOD AND DEVICE SUPPRESSING TRANSFORMER EXCITING RUSH CURRENT

Patent number: JP11345546
Publication date: 1999-12-14
Inventor: MATSUSHITA TETSUYA; NAGASHIMA HIROSHI; TSUTSUMI MASAKI;
 MIYAMOTO TAKEHISA; KANEKO EIJI; YAMAMOTO KATSUTOSHI;
 HAMADA HIRONOBU
Applicant: KYUSHU ELECTRIC POWER; TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO
Classification:
 - international: H01H33/59
 - european:
Application number: JP19980151605 19980601
Priority number(s): JP19980151605 19980601

Report a data error here

Abstract of JP11345546

PROBLEM TO BE SOLVED: To surely suppress an exciting rush current by adjusting the operating times of circuit breakers to appropriate ones while allowing for factors causing shift or variations of the operating times.
SOLUTION: A circuit breaker 9, a three-phase transformer 8 and a circuit breaker 10 are connected from a power supply, and three-phase PTs (potential transformers) 11, 13 and the like are connected to these devices when necessary. A means for measuring the voltages of the three phase PTs 11, 13 is connected to a control device 27 via a signal processing means 26. A magnetic flux measuring means 17, a temperature measuring means 18, a pressure measuring means 19, and a voltage measuring means 20, for the circuit breaker 9, are connected to the control means 27 via signal processing means 24, 25. An arithmetic part which performs arithmetic processing according to inputs from the signal processing means 24, 25, 26 is set in the control means 27. The control means 27 is connected to the circuit breaker 9 so that circuit breaking and making control signals 28 can be transmitted according to results given by the arithmetic part.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(51)Int.Cl.⁶

H 0 1 H 33/59

識別記号

F I

H 0 1 H 33/59

H

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平10-151605

(22)出願日 平成10年(1998)6月1日

(71)出願人 000164438

九州電力株式会社

福岡県福岡市中央区渡辺通2丁目1番82号

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 松下 哲也

福岡県福岡市中央区渡辺通二丁目1番82号

九州電力株式会社内

(72)発明者 長嶋 洋

福岡県福岡市南区塩原二丁目1番47号 九

州電力株式会社総合研究所内

(74)代理人 弁理士 木内 光春

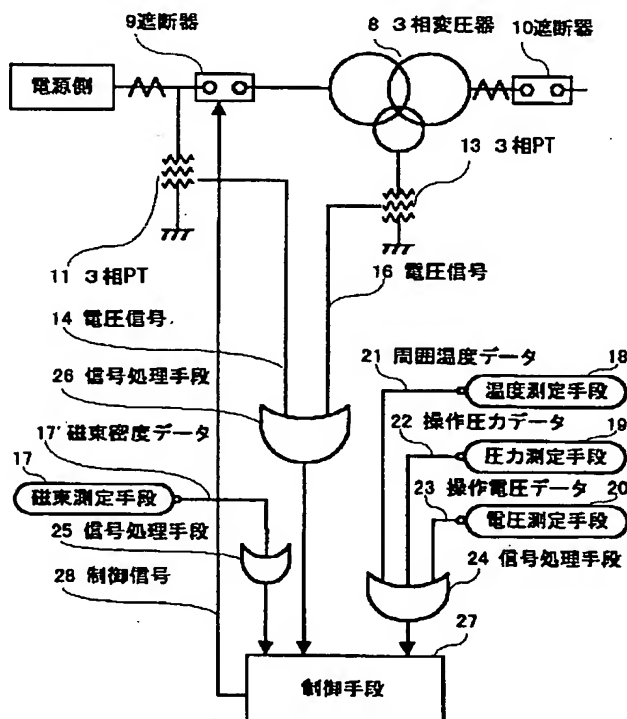
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 変圧器励磁突入電流抑制方法及びその装置

(57)【要約】

【課題】 遮断器の動作時間のずれ、ばらつきをもたらす要因を考慮して、動作時間が適切なものとなるように調整することにより、励磁突入電流を確実に抑制できる変圧器励磁突入電流抑制方法及びその装置を提供する。

【解決手段】 電源側から遮断器9、3相変圧器8、遮断器10を接続し、各機器に、3相PT11、13等を適宜接続する。3相PT11、13の電圧を計測する手段を、信号処理手段26を介して制御装置27に接続する。遮断器9の磁束計測手段17、温度測定手段18、圧力測定手段19及び電圧測定手段20を、信号処理手段24、25を介して制御手段27に接続する。制御手段27に、信号処理手段24、25、26からの入力に基づいて演算処理を行う演算部を設定する。演算部の結果によって遮断及び投入の制御信号28の送出が可能となるように、制御手段27を遮断器9に接続する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 変圧器の端子に設けられた遮断器の動作を制御する方法であって、前記遮断器の遮断動作時には、基準とする相の電圧零点の時刻からあらかじめ定められた時間後に前記変圧器を切り離し、前記遮断器の投入動作時には、当該基準とする相の電圧零点の時刻からあらかじめ定められた時間後に前記変圧器を投入する変圧器励磁突入電流抑制方法において、前記遮断器における操作圧力の値、操作電圧の値及び周囲温度の値を第1のパラメータ群とし、前記変圧器の投入時における鉄心中の残留磁束量を第2のパラメータとし、

前記第1のパラメータ群及び前記第2のパラメータに基づいて、演算により前記遮断器の動作時間を定める制御を行うことを特徴とする変圧器励磁突入電流抑制方法。

【請求項2】 前記遮断器を投入すべき時間と、アーク放電によって生ずる先行投入時間との差に基づいて、前記遮断器の投入時間を制御することを特徴とする請求項1記載の変圧器励磁突入電流抑制方法。

【請求項3】 前記遮断器が油圧操作式である場合には、前記操作圧力の値は操作油圧の値とし、前記遮断器が空気圧操作式である場合には、前記操作圧力の値は操作気圧の値とすることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の変圧器励磁突入電流抑制方法。

【請求項4】 前記遮断器の動作制御を三相一括で行うことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の変圧器励磁突入電流抑制方法。

【請求項5】 前記遮断器の動作制御を三相個別に行うことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の変圧器励磁突入電流抑制方法。

【請求項6】 前記変圧器の3次回路の電圧をモニターして波形の積分を行うことにより、前記変圧器の残留磁束量を推定し、この推定結果を前記第2のパラメータとすることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の変圧器励磁突入電流抑制方法。

【請求項7】 前記遮断器の油圧又は気圧を定格圧まで充気した後に、前記遮断器の操作を開始することを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の変圧器励磁突入電流抑制方法。

【請求項8】 変圧器の端子に遮断器が設けられ、前記遮断器の遮断動作時には、基準とする相の電圧零点の時刻からあらかじめ定められた時間後に前記変圧器を切り離し、前記遮断器の投入動作時には、当該基準とする相の電圧零点の時刻からあらかじめ定められた時間後に前記変圧器を投入する制御装置を有する変圧器励磁突入電流抑制装置において、

前記遮断器における操作圧力の値を測定する圧力測定手段と、前記遮断器における操作電圧の値を測定する電圧測定手段と、前記遮断器における周囲温度を測定する温度測定手段と、前記変圧器の鉄心中の残留磁束量を測定

する磁束測定手段とを有し、

前記制御装置は、前記圧力測定手段、前記電圧測定手段及び前記磁束測定手段によって測定された操作圧力値、操作電圧値及び周囲温度を第1のパラメータ群とし、前記磁束測定手段によって測定された残留磁束量を第2のパラメータとし、前記第1のパラメータ群及び前記第2のパラメータに基づいて、前記遮断器の動作時間を定める演算部を有することを特徴とする変圧器励磁突入電流抑制装置。

10 【請求項9】 前記変圧器は油圧操作式又は空気圧操作式であることを特徴とする請求項8記載の変圧器励磁突入電流抑制装置。

【請求項10】 前記遮断器が三相一括形であることを特徴とする請求項8又は請求項9記載の変圧器励磁突入電流抑制装置。

【請求項11】 前記遮断器が各相操作形であることを特徴とする請求項8又は請求項9記載の変圧器励磁突入電流抑制装置。

20 【請求項12】 前記磁束測定手段は、前記変圧器の鉄心中に組み込まれていることを特徴とする請求項8～11のいずれか1項に記載の変圧器励磁突入電流抑制装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は電力系統における変圧器の投入・遮断を行うための遮断器の開閉動作制御技術に係り、特に、変圧器の投入時に発生する励磁突入電流を抑制する方法及びその装置に関する。

【0002】

30 【従来の技術】 電力用の変圧器を系統に投入する際には、励磁突入現象のために、定格電流の数倍から十倍にも達する突出電流が流れる場合がある。このとき、変圧器そのものが過大な電流による電磁力の影響を受けるとともに、電力系統に対する電圧低下などの擾乱が発生するという問題がある。

【0003】 このような励磁電流の現象については、電気学会発行「電気工学ハンドブック」、電気書院発行「電気技術体系第10巻」を始め、一般の教科書に広く紹介されている。これらの文献によると、励磁突入電流は、変圧器の残留磁束密度の値により異なり、投入位相とも関係することが述べられている。つまり、変圧器の鉄心に残留磁束が存在する場合、投入時の電圧位相によっては、励磁突入電流が更に大きな値になり、上記のような問題が発生することになる。

40 【0004】 これに対処するために励磁突入電流を抑制する技術については、旧来から様々な検討がなされている。まず、投入位相の調整による従来技術として、特開昭62-278710にて提案されているものを、図12のブロック図に従って説明する。すなわち、電流の各相はR、S、Tとし、各々の遮断器は4、5、6とす

る。これらの遮断器4, 5, 6は、それぞれの端子が三相変圧器1に接続されるとともに、変圧器投入制御装置2からの投入指令7を受け取る構成となっている。また、変圧器投入制御装置2には、各相R, S, Tの位相信号検出線3が接続されている。

【0005】この従来技術においては、変圧器投入制御装置2に外部からの投入指令7が与えられた場合には、電源各相R, S, Tの電圧を検討することによって位相が検出され、あらかじめ定められたタイミングで遮断器4, 5, 6が投入される。

【0006】また、特開昭55-100034には、励磁電流に過渡的な増加が起きないように、投入位相を遮断位相に合わせて投入する技術が述べられている。

【0007】さらに、上記のように、励磁突入現象は変圧器の鉄心の残留磁束密度により大きく左右されるものであるが、この残留磁束密度は、変圧器を切り離すタイミングにより大きく異なる。このため、励磁突入電流の抑制を行うには、切り離しのタイミングに依存する残留磁束密度にあわせて投入時間を制御することが必要であり、このときに遮断器の動作時間変動分を補正しなければならない。

【0008】このように励磁突入電流抑制のためのパラメータとして、変圧器の残留磁束密度を用いるには、残留磁束密度の直接的な測定若しくは計算による値の把握が必要となる。このための従来技術としては、特開平5-175061に、鉄心の中に短間隙を設け、そこに挿入した磁気センサーによって磁束密度を測定するものが提案されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところで、三相変圧器においては、励磁突入電流を抑えることのできる投入時間は限定された条件となるので、実際に制御効果が得られる場合は限られたものになる。特に、遮断器の操作圧力、制御電圧及び周囲温度の変動によって、遮断器は操作指令に対して動作時間のばらつき、ずれを生じるおそれがある。このようなばらつき、ずれが生ずると、上記の従来技術によって行われる制御条件から外れてしまい、励磁突入電流を抑制できず、過大な電流が流れることがある。

【0010】また、遮断器を所定の位相条件において投入しようとするときに、電圧零からの時間と、実際に投入しようとした時間との間に、アーク放電のためにずれが生ずることが“Field tests of a circuit breaker synchronous control”95 WM 011-7 PWRD (以下、参考文献1とする)において紹介されている。

【0011】すなわち、遮断器を投入しようとする際には、電極間に発生するアーク放電のために、投入を目指している時刻よりも早めに電極間が電氣的につながる。

このアーク放電のことを先行アーク放電と呼び、この現象を先行アーク現象（ブレアーク現象）と呼ぶが、このようなブレアーク現象のために、実際の投入時間と、想定している投入時間との間にずれが生じ、適切な制御ができない可能性があった。

【0012】さらに、変圧器の鉄心に挿入した磁気センサー等の測定器によって、残留磁束密度の値を測定する場合には、変圧器の制作時に鉄心に空隙を設けなければならない。これは、新設の変圧器には適用できる技術であるが、変圧器設置後に測定器を追加することは困難であり、既存の機器への適用は容易ではない。

【0013】本発明は、以上のような従来技術の問題点を解決するために提案されたものであり、その目的は、遮断器の動作時間のずれ、ばらつきをもたす要因を考慮して、動作時間が適切なものとなるように調整することにより、励磁突入電流を確実に抑制できる変圧器励磁突入電流抑制方法及びその装置を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記のような目的を達成するために、請求項1記載の発明は、変圧器の端子に設けられた遮断器の動作を制御する方法であって、前記遮断器の遮断動作時には、基準とする相の電圧零点の時刻からあらかじめ定められた時間後に前記変圧器を切り離し、前記遮断器の投入動作時には、当該基準とする相の電圧零点の時刻からあらかじめ定められた時間後に前記変圧器を投入する変圧器励磁突入電流抑制方法において、前記遮断器における操作圧力の値、操作電圧の値及び周囲温度の値を第1のパラメータ群とし、前記変圧器の投入時における鉄心中の残留磁束量を第2のパラメータとし、前記第1のパラメータ群及び前記第2のパラメータに基づいて、演算により前記遮断器の動作時間を定める制御を行うことを特徴とする。

【0015】また、請求項8記載の発明は、変圧器の端子に遮断器が設けられ、前記遮断器の遮断動作時には、基準とする相の電圧零点の時刻からあらかじめ定められた時間後に前記変圧器を切り離し、前記遮断器の投入動作時には、当該基準とする相の電圧零点の時刻からあらかじめ定められた時間後に前記変圧器を投入する制御装置を有する変圧器励磁突入電流抑制装置において、前記遮断器における操作圧力の値を測定する圧力測定手段と、前記遮断器における操作電圧の値を測定する電圧測定手段と、前記遮断器における周囲温度を測定する温度測定手段と、前記変圧器の鉄心中の残留磁束量を測定する磁束測定手段とを有し、前記制御装置は、前記圧力測定手段、前記電圧測定手段及び前記磁束測定手段によって測定された操作圧力値、操作電圧値及び周囲温度を第1のパラメータ群とし、前記磁束測定手段によって測定された残留磁束量を第2のパラメータとし、前記第1のパラメータ群及び前記第2のパラメータに基づいて、前記遮断器の動作時間を定める演算部を有することを特徴

とする。

【0016】以上のような請求項1、請求項8記載の変圧器励磁突入電流抑制方法及びその装置では、操作指令に対する遮断器の動作時間のばらつき、ずれをもたらし要因となる操作圧力値、操作電圧値、周囲温度及び残留磁束量に基づいて、遮断器の動作時間を制御するので、ばらつき、ずれが補正され、適切な動作タイミングによって励磁突入電流を確実に抑制することができる。

【0017】請求項2記載の発明は、請求項1記載の変圧器励磁突入電流抑制方法において、前記遮断器を投入すべき時間と、アーク放電によって生ずる先行投入時間との差に基づいて、前記遮断器の投入時間を制御することを特徴とする。

【0018】以上のような請求項2記載の発明では、先行アーク放電現象によって生ずる投入時間のずれを補正することができるので、適切な動作タイミングによって励磁突入電流をさらに確実に抑制することができる。

【0019】請求項3記載の発明は、請求項1又は請求項2記載の変圧器励磁突入電流抑制方法において、前記遮断器が油圧操作式である場合には、前記操作圧力の値は操作油圧の値とし、前記遮断器が空気圧操作式である場合には、前記操作圧力の値は操作気圧の値とすることを特徴とする。

【0020】また、請求項9記載の発明は、請求項8記載の変圧器励磁突入電流抑制装置において、前記変圧器は油圧操作式又は空気圧操作式であることを特徴とする。

【0021】以上のような請求項3、請求項9記載の変圧器励磁突入電流抑制方法及びその装置では、油圧操作式又は空気圧操作式の変圧器において、操作指令に対する遮断器の動作時間のばらつき、ずれをもたらし要因となる操作油圧の値若しくは操作気圧の値に基づいて、遮断器の動作時間を制御するので、適切な開閉タイミングによって、励磁突入電流を確実に抑制することができる。

【0022】請求項4記載の発明は、請求項1～3のいずれか1項に記載の変圧器励磁突入電流抑制方法において、前記遮断器の動作制御を三相一括で行うことを特徴とする。

【0023】また、請求項10記載の発明は、請求項8又は請求項9記載の変圧器励磁突入電流抑制装置において、前記遮断器が三相一括形であることを特徴とする。

【0024】以上のような請求項4、請求項10記載の発明である変圧器励磁突入電流抑制方法及びその装置では、遮断器の動作制御を三相一括で行うので、単純な構成と制御条件によって、励磁突入電流を確実に抑制することができる。

【0025】請求項5記載の発明は、請求項1～3のいずれか1項に記載の変圧器励磁突入電流抑制方法において、前記遮断器の動作制御を三相個別に行うことを特徴

とする。

【0026】また、請求項11記載の発明は、請求項8又は請求項9記載の変圧器励磁突入電流抑制装置において、前記遮断器が各相操作形であることを特徴とする。

【0027】以上のような請求項5、請求項11記載の発明である変圧器励磁突入電流抑制方法及びその装置では、遮断器の動作制御は、各相ごとの条件の違いに応じて各相個別に行うことができるので、さらに確実に励磁突入電流を抑制することができる。

【0028】請求項6記載の発明は、請求項1～5のいずれか1項に記載の変圧器励磁突入電流抑制方法において、前記変圧器の3次回路の電圧をモニターして波形の積分を行うことにより、前記変圧器の残留磁束量を推定し、この推定結果を前記第2のパラメータとすることを特徴とする。

【0029】以上のような請求項6記載の発明では、変圧器の3次回路の電圧に基づいて、残留磁束量を求めることができるので、残留磁束の測定手段を追加できない既存の変圧器であっても適用することができる。

【0030】請求項7記載の発明は、請求項1～6のいずれか1項に記載の変圧器励磁突入電流抑制方法において、前記遮断器の油圧又は気圧を定格圧まで充気した後に、前記遮断器の操作を開始することを特徴とする。

【0031】以上のような請求項7記載の発明では、遮断器の操作が定格の油圧又は気圧の下になされるので、油圧又は空気圧の変動による遮断器の操作時間の調整が不要となり、制御条件を軽微にすることができる。

【0032】請求項12記載の発明は、請求項8～11のいずれか1項に記載の変圧器励磁突入電流抑制装置において、前記磁束測定手段は、前記変圧器の鉄心中に組み込まれていることを特徴とする。

【0033】以上のような請求項12記載の発明では、鉄心の磁束密度を直接測定することができるので、測定精度が高く、わずかな変動でも検出が可能となり、迅速な対応が可能となる。

【0034】

【発明の実施の形態】 (1) 第1の実施の形態

(構成) 請求項1～4、請求項8～10記載の発明に対応する実施の形態を、図1に従って説明する。なお、図1は、本実施の形態を示すダイヤグラム図である。すなわち、本実施の形態においては、電源側から遮断器9、3相変圧器8、遮断器10が接続され、各機器には、3相PT(計器用変圧器)11、13、CT(変流器)等が適宜接続されている。3相PT11は、遮断器9と3相変圧器8との間の電圧を測定する手段を有し、3相PT13は、変圧器3次回路の電圧を測定する手段を有し、それぞれ信号処理手段26を介して制御装置27に接続されている。

【0035】そして、遮断器9の鉄心の磁束密度を計測する磁束計測手段17と、遮断器9の周囲温度を測定す

る温度測定手段18と、遮断器9の操作圧力を測定する圧力測定手段19と、遮断器9の操作電圧を測定する電圧測定手段20とが設けられ、これらの測定手段が信号処理手段24、25を介して制御手段27に接続されている。また、制御手段27には、信号処理手段24、25、26からの入力に基づいて演算処理を行う演算部が設定され、この演算部の結果によって遮断及び投入の制御信号28の送出が可能となるように、制御手段27は遮断器9に接続されている。

【0036】さらに、圧力測定手段19によって測定される操作圧力データ22と、電圧測定手段20によって測定される操作電圧データ23と、温度測定手段18によって測定される周囲温度データ21を第1のパラメータ群とし、磁束計測手段17によって測定される磁束密度データ17'を第2のパラメータとする。

【0037】なお、図1では、3相変圧器8とその周辺の遮断器9、10を中心とした要素部分のみを示しており、電源側の遮断器9の上流側と、負荷側の遮断器10より下流側は励磁突入電流現象と直接の関係はないので、図示を省略してある。

【0038】(作用) 以上のような構成の本実施の形態*

$$\begin{aligned} B_r &= B_E \{ \cos(\theta_1) - \cos(\omega t) \} + B_{r0} \\ B_s &= B_E \{ \cos(\theta_1 - 2\pi/3) - \cos(\omega t - 2\pi/3) \} + B_{s0} \\ B_t &= B_E \{ \cos(\theta_1 - 4\pi/3) - \cos(\omega t - 4\pi/3) \} + B_{t0} \end{aligned}$$

…式1

この磁束を発生する励磁電流値は、後述する図7に示すように、非直線かつヒステリシス特性を示すので、簡単な式では表せないが、ヒステリシス曲線を用いて求めることができる。このような投入位相毎の励磁電流値の様子を、図2(i)～(iv)に示す。これによれば、投入位相毎に励磁電流値が異なっていることがわかる。また、図3は、遮断器の投入位相と各相の突入電流値及び3相の突入電流の合計値を、上記の計算により求めたものである。この図3は、定格電圧で励磁の状態にする残留磁束の値が、それぞれの相で、R相が10%、T相が35%、S相が45%の場合である。

【0042】この計算により求められた投入位相と励磁突入電流との関係からわかるように、それぞれの残留磁束密度の値に対して励磁突入電流値を最小にする投入位相が存在している。すなわち、図3の場合では、R相の位相角で270°の前後20°の範囲で励磁突入電流をほぼ零とすることができる。従来技術においても、概ねこの値を目安に投入位相調整を行っていた。

【0043】②操作圧力値、操作電圧値及び周囲温度に基づく調整

しかし、上記の「発明が解決しようとする課題」において説明したように、遮断器の投入時間は種々の原因によりばらつきをおこすので、単に、ある相の電圧零時間を基準として投入すべき時間を決めて制御するような、従

*において、遮断器9の動作制御を行う方法を以下に説明する。なお、以下の説明は、①残留磁束密度に基づく調整、②操作圧力値、操作電圧値及び周囲温度に基づく調整、③ブレイク現象に対する調整について、試験データ等に基づく説明をした後に、④具体的な演算による制御手順について説明する。

【0039】①残留磁束密度に基づく調整

まず、励磁突入現象は遮断器9の投入時に生じるため、第一義的には遮断器9の投入時間の制御を行う必要がある。このときの留意点は、3相変圧器8の鉄心の残留磁束量の検出とそれにより決まる遮断器9の投入位相であり、これにより目標となる投入位相を決定する。

【0040】ここで、任意の投入位相における励磁突入電流値は、鉄心の残留磁束密度がわかれば、計算により求めることができる。すなわち、鉄心に残留磁束が存在する時に、ある位相角で電流が投入されると、次の式1に示すように鉄心中の磁束が変化する。なお、式1において、 B_E はピーク値、 B_{r0} 、 B_{s0} 及び B_{t0} は、各相の残留磁束密度である。

【0041】

【数1】

来から行われていた位相角の制御では、十分な励磁突入電流抑制の効果が期待できない。

【0044】ここで、操作圧力の変動による投入時間のばらつきを実証するために、通常の高圧遮断器の投入試験を行った場合の一例として、油圧操作式のガス遮断器の操作油圧力値と投入時間との関係を図4に示す。この例に示すように、油圧は定格圧力31.5MPaから最高圧力33.5MPaの間で常に変動する。また、ロック圧力27MPaまでは連続した遮断、投入動作により圧力が変動する。そして、図4によれば、投入時間は操作油圧力値に関係し、制御電圧75Vの時に約1.3ms/MPaの変動幅があることがわかる。圧力自体の変動幅は6.5MPaあるので、この油圧の変動により遮断器の投入動作時間には約8.5ms変動幅があることがわかる。

【0045】また、遮断器の操作電圧である制御電圧の変動によっても、投入時間のばらつきが生じる。これを実証するために、上記の図3と同じガス遮断器の投入試験を行った場合の一例として、制御電圧と投入時間との関係を図5に示す。この例に示すように、投入時間は制御電圧によっても変化し、油圧33.5MPaの時に約0.12ms/Vの変動幅がある。通常±10%の電圧変動は許容されているので、投入時間については、制御電圧の変動に起因する1～2ms程度の時間のばらつき

が生じることがわかる。

【0046】さらに、これらの操作圧力や制御電圧は、周囲温度の変動によっても変動する可能性を持っている。例えば、油圧操作式の場合、操作に使用する動作油が温度によりその粘性が変わり、同じ圧力であっても遮断器動作特性が異なってくる。このため、周囲温度も、投入時間のばらつきを招く要因となりうる。

【0047】以上のような投入時間のばらつきを防止するために、本実施の形態は、さらに以下のような制御を行う。例えば、操作油圧の変動分については、図4に示すような特性があるため、投入操作を開始する当たっては、別に求めた投入目標時間に対して、微調整が必要である。

【0048】すなわち、基準時間から100ms後に遮断器を投入しようとする、操作油圧が33.5MPaであれば、投入信号を出してから約84ms後に遮断器の投入がなされるので、基準信号から26ms後に投入信号を出せばよい。また、同様に、操作油圧が27MPaであれば、投入信号を出してから約92ms後に遮断器の投入がなされるので、基準信号から8ms遅れて投入信号を出せばよい。このように、操作油圧の変動に合わせ、図4に示すようなデータに基づいて投入信号を発する時間を調整することにより、適切な遮断器の制御が可能となる。また、制御電圧についても、上記と同様に、図5に基づいて制御することができる。さらに、特に例示はしないが、周囲温度についても同様である。

【0049】③ブレイク現象に対する調整
上記の②の変動は、電極同士が機械的に接触する時間のばらつき、ずれであるが、「発明が解決しようとする課題」において説明したように、遮断器を所定の位相条件において投入しようとするときに、先行アーク放電によって、電極間が早めに電氣的に接続され、電圧零からの投入目標時間と実際に投入される時間との間にずれが生じる。

【0050】このような先行アーク放電に関する特性の代表的な例として、前述の参考文献1に示されているものを、図6に示す。この図6における横軸は、遮断器を投入しようとした電圧零からの時間を示し、縦軸は実際に遮断器が投入された時間を示している。1点鎖線は投入しようとした時間と実時間が一致する場合を示しており、他の曲線は実際に投入した時間を示している。

【0051】この図6によれば、実際の投入時間を示す曲線はすべて1点鎖線の下側にあり、先行アーク放電のために投入しようとした時間よりも早く電氣的につながっていることがわかる。電圧零に近い所ではその差は少なく1ms以下であるが、電圧値の高い5～7msのところでは、2ms程度まで大きくずれることが示されて*

$$\phi = \phi(Br) + \Delta\phi_{pv}(P, V, T) + \Delta\phi_a(D)$$

以上のようにして求められた投入位相 ϕ に基づいて、遮断器9の制御信号28が送出され、遮断器9が制御され

*いる。

【0052】ただし、この図6からわかるように、このずれは2ms程度であり、相による差はあまり無いという特徴がある。このため、投入すべき位相を決めておけば、実投入時間のばらつきは少ないため、予めこの時間を制御に組み込んでおくことで対処できる。

【0053】④具体的な演算による制御手順

本実施の形態においては、制御手段27の演算部によって、上記の①～③の制御方法に従った演算を行い、図3で要求される投入位相を補正することにより、遮断器9の動作を制御する。この具体的な演算処理を以下に説明する。

【0054】なお、演算処理に必要なデータは、信号処理手段24、25、26を介して制御手段27に入力される。また、上記の操作油圧値、制御電圧値、周囲温度は、本実施の形態の構成で示した操作圧力データ22、操作電圧データ23、周囲温度データ21の3つのパラメータに対応するが、これらは上記のように互に関連するので、第1のパラメータ群として一括して取り扱う。さらに、上記の残留磁束密度値は、本実施の形態の構成で示した磁束密度データ17'に対応し、第2のパラメータとして扱う。

【0055】すなわち、上記①において説明したように、図3に示すデータに基づいて、電源電圧の一つの代表相の電圧零点を基準に、遮断器9を投入すべき位相の調整量を決定する。この位相調整量は、第2のパラメータである鉄心中の残留磁束Brによって変化するので、Brの関数 $\phi(Br)$ として表す。

【0056】一方、上記②において説明したように、図4に示すデータに基づいて、操作圧力の補正值を求める。この操作圧力の補正值は、操作電圧値により異なるので、電圧Vの関数 $\Delta\phi_p(V)$ として表す。また、同様に、図5に示すデータに基づいて、制御電圧の補正值を求める。この制御電圧の補正值は、操作圧力により異なるので、圧力Pの関数 $\Delta\phi_v(P)$ として表す。

【0057】そして、この操作圧力の補正值 $\Delta\phi_p(V)$ 及び制御電圧の補正值 $\Delta\phi_v(P)$ と、周囲温度データとは関連するので一つにまとめ、第1のパラメータ群として、 $\Delta\phi_{pv}(P, V, T)$ として表す。さらに、ブレイク現象によるばらつきを $\Delta\phi_a(D)$ で表す。ここでDは、図6の横軸の時間である。

【0058】これらの $\Delta\phi_{pv}(P, V, T)$ と $\Delta\phi_a(D)$ とを合成して、さらに位相調整量 $\phi(Br)$ を加えることによって、投入位相 ϕ を求める。これを以下の式2に示す。

【0059】

【数2】

る。

【0060】(効果) 以上のような本実施の形態によれ

ば、遮断器 9 の動作時間のばらつき、ずれをもたす要因となる操作圧力値、操作電圧値、周囲温度及び残留磁束密度に基づいて、遮断器 9 の動作時間を補正するので、動作タイミングが適切なものとなり、励磁突入電流を確実に抑制することができる。

【0061】また、ブレイク現象によって生ずる投入時間のずれも、あらかじめ測定したデータに基づいて補正することができるので、より確実な励磁突入電流抑制が可能となる。

【0062】(2) 第 2 の実施の形態

請求項 1 ～ 4 記載の発明に対応する他の実施の形態を、以下に説明する。すなわち、鉄心中の残留磁束は、変圧器を切り離れたときの回路状態によって異なる。つまり、変圧器の鉄心にはいわゆるヒステリシス特性があり、遮断器で変圧器の電流を遮断して行くときに、電流零点において残留磁束が生じる。

【0063】ここで、図 7 は、ヒステリシス特性を示す曲線であり、横軸を励磁電流に対応する起磁力とし、縦軸を磁束密度の値としたものである。この図 7 におけるいわゆるヒステリシス曲線の中に示された点、(a)、(b)、(c) 等と、それにつながる左下がりの曲線は、その時点で、起磁力、すなわち励磁電流のある値の時に、電流遮断が行われたときに残留磁束密度がどのようになるのかを示したものである。例えば、(c) 点の場合、電流遮断時には (d) 点に落ち着き、残留磁束密度の値が (d) 点に示す値であることを示している。

【0064】この結果を実験に基づき整理したものを、図 8 に表す。この図 8 における横軸は、図 7 における遮断時の磁束密度 B_{off} を示し、縦軸は残留磁束密度 B_r を示す。この実験結果を用いると、変圧器の励磁電圧を測れば、遮断時の残留磁束密度の概略値を知ることができる。

【0065】また、遮断位相角と電源電圧、鉄心磁束、残留磁束との関係を、図 9 に示す。この図 9 からわかるように、遮断位相角により最小の残留磁束量が異なるので、これに基づいて、任意の磁束密度となるように遮断器を制御することが可能となる。一般に、遮断器の遮断時は、ほとんど時間的なばらつきはないので、遮断位相はずれることがない。従って、図 9 に基づいて遮断位相を決めて遮断器の遮断時間を制御すれば、変圧器の残留磁束を任意の値とすることができる。

【0066】さらに、これを基準として、上記の第 1 の実施の形態と同様に投入時間の制御を行うと、励磁突入電流の抑制を行うことができる。より具体的には、図 9 から鉄心中の残留磁束 B_r を求め、上記の式 2 に基づいて、遮断器の投入時間を制御する。

【0067】以上のような本実施の形態によれば、遮断器の遮断時における変圧器鉄心の残留磁束を任意のものとし、さらに、遮断器の投入時における動作時間のばらつきを補正することができるので、より確実に励磁突入

電流を抑制できる。

【0068】また、本実施の形態においては、第 1 の実施の形態におけるような磁束計測手段 17 を必ずしも設けなくとも、上記のようなデータに基づいて残留磁束を求めることができるので、装置を簡略化することができる。

【0069】(3) 第 3 の実施の形態

請求項 12 記載の発明に対応する実施の形態を、図 10 に従って以下に説明する。本実施の形態は、第 1 の実施の形態における磁束測定手段 17 として、特開平 5-17061 において提案されているような、変圧器の鉄心に組み込まれた磁気センサを用いたものである。すなわち、巻線 29、30 を巻装した鉄心 31、32 により構成される磁路の途中に短間隙 33 が設けられ、この短間隙 33 にホール素子等の磁気センサ 34 が挿入されている。そして、磁気センサ 34 を制御手段 27 に接続するリード線 35 が、変圧器外部に引き出されている。

【0070】以上のような本実施の形態によれば、鉄心中の残留磁束は、磁気センサ 34 からの信号により直接検知することができるので、その測定精度が高く、わずかな変動でもその検出が可能となる。従って、磁束密度の変動に正確かつ迅速に対応でき、励磁電流抑制効果を向上させることができる。

【0071】(4) 第 4 の実施の形態

請求項 6 記載の発明に対応する実施の形態を、以下に説明する。すなわち、本実施の形態は、変圧器の 3 次回路の電圧をモニター（測定・監視）し、遮断時の電圧波形を積分して残留磁束密度の値を求めるものである。この積分は、以下の式 3 に基づいて行う。

【0072】

【数 3】

$$B_r = K \cdot \int_{t_0} V dt \quad \cdots \text{式 3}$$

なお、式 3 において、 B_r は求めようとしている相の残留磁束密度、 V は B_r を求めようとしている相の電圧、 t_0 はこの電圧のピーク値の時間、 K は定数であり、右辺の積分はこの時間 t_0 から電圧が零に至る時間まで行う。

【0073】この式 3 による計算結果の例を、図 11 に示す。この例は、図 1 の 3 次巻線用の PT 13 によって 3 次電圧をモニターし、その値を式 3 に基づき積分し、鉄心中の磁束密度を求めたものである。図 11 における上の 3 つのラインが、それぞれ R 相、S 相、T 相の各相における電圧値 36、37、38 を表し、下の 3 つのラインが、それぞれ R 相、S 相、T 相の各相における上記の計算で得られた磁束密度 39、40、41 を表す。

【0074】この図 11 の後半に示されるように、3 次側の電圧値 36、37、38 は、変圧器が切り離されることによって、電圧零 45、46、47 に落ち着く。一方、鉄心中の磁束密度 39、40、41 は、電圧値 3

6, 37, 38を積分することによって得られるので、変圧器が切り離される前の段階の42, 43, 44より積分を開始し、最終的な残留磁束密度48, 49, 50が得られる。この図11の場合、T相に最大の残留磁束が残っていることがわかる。

【0075】このような計算結果によって表される図11の残留磁束のうち、48に対応する相の磁束密度はほぼ零とみなせるので、49と50に対応する相を、図3におけるR相、T相とみなすと、図3から明らかなように、投入位相の270°の前後20°程度の幅の中で遮断器が投入されれば、励磁突入電流を抑え込むことが可能となることがわかる。このように、目標となる投入位相を決定し、第1の実施の形態と同様の調整を行うことにより、励磁突入電流を抑制する。

【0076】以上のような本実施の形態によれば、鉄心中の残留磁束量の直接計測が困難な場合であっても、残留磁束量を変圧器の3次回路の電圧値に基づいて算出することができるので、磁束測定手段を追加できない既存の変圧器に適した制御を行うことができる。

【0077】(5) 第5の実施の形態
請求項7記載の発明に対応する実施の形態を、以下に説明する。すなわち、変圧器の励磁開始に当たっては、遮断器に対して行われる系統事故時の遮断再突入のように時間的な余裕のない場合ばかりではなく、変圧器を投入する時に時間的な余裕があることも想定される。そこで、本実施の形態は、このように時間的な余裕がある場合に、まず油圧あるいは空気圧を定格まで充気してから遮断器操作を行うものである。

【0078】このような本実施の形態によれば、常に遮断器の操作が定格の油圧、空気圧の下になされるので、油圧、空気圧の変動による遮断器操作時間の微調整を行う必要がなく、制御の条件を軽微にすることができる。また、精度の高い圧力測定センサー等の測定装置を設置することが困難な既設の機器であっても、適切な遮断器操作を行い、励磁突入電流を抑制することができる。

【0079】(6) 他の実施の形態
本発明は、以上のような実施の形態に限定されるものではない。例えば、上記の実施の形態は、遮断・投入動作を三相一括で行う三相一括方式の遮断器による場合のみについて述べたが、請求項5、請求項11記載の発明に対応するものとして、各相操作方式の遮断器による各相制御の場合でも、同一の作用効果を得ることができる。特に、各相を個別に操作制御する場合には、投入時間の選定にあたっては、各相毎の条件の違いを考慮した制御が可能となるので、さらに優れた励磁突入電流の抑制効果を得ることができる。

【0080】また、遮断器は油圧操作式であっても、空気圧操作式であってもよい。上記の実施の形態における操作圧力値は、油圧操作式の場合には操作油圧の値、空気圧操作式の場合には操作気圧の値となる。

【0081】さらに、上記の制御手段27、信号処理手段23, 25, 26等は、専用の回路によって実現してもよいし、コンピュータによって実現してもよい。

【0082】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、遮断器の動作時間のずれ、ばらつきをもたらし要因を考慮して、動作時間が適切なものとなるように調整することにより、励磁突入電流を確実に抑制可能な変圧器励磁突入電流抑制方法及びその装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の構成の一例を示すダイアグラム図である。

【図2】遮断器の投入位相毎の励磁突入電流の様子を示すグラフである。

【図3】遮断器の投入位相と、各相の励磁突入電流及びその合計値との関係を示すグラフである。

【図4】操作圧力と投入時間との関係の一例を示すグラフである。

【図5】制御電圧と投入時間との関係の一例を示すグラフである。

【図6】設定投入遅れ時間と実測投入遅れ時間との関係の一例を示すグラフである。

【図7】変圧器の鉄心中のヒステリシス特性を示す説明図である。

【図8】変圧器の鉄心の遮断時の磁束密度値と残留磁束密度との関係を示すグラフである。

【図9】遮断器の遮断位相角と電源電圧、鉄心磁束、残留磁束との関係を示すグラフである。

【図10】本発明の第3の実施の形態における変圧器を示す構成図である。

【図11】3次回路電圧から求めた磁束密度の変化を示す説明図である。

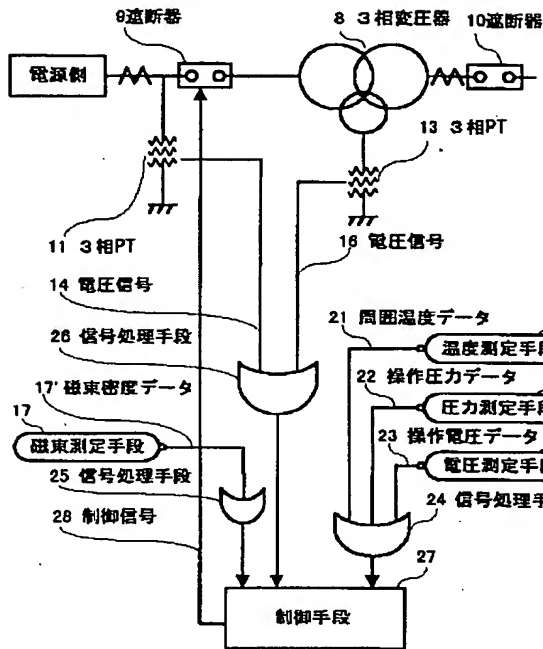
【図12】従来の変圧器の励磁突入電流抑制装置の一例を示す説明図である。

【符号の説明】

- 1, 8…三相変圧器
- 2…変圧器投入制御装置
- 3…位相信号検出線
- 4, 5, 6, 9, 10…遮断器
- 7…投入指令
- 11, 13…三相PT
- 14, 16…電圧信号
- 15…電流信号
- 17…磁束測定手段
- 17'…磁束密度データ
- 18…温度測定手段
- 19…圧力測定手段
- 20…電圧測定手段
- 21…周囲温度データ
- 22…操作圧力データ

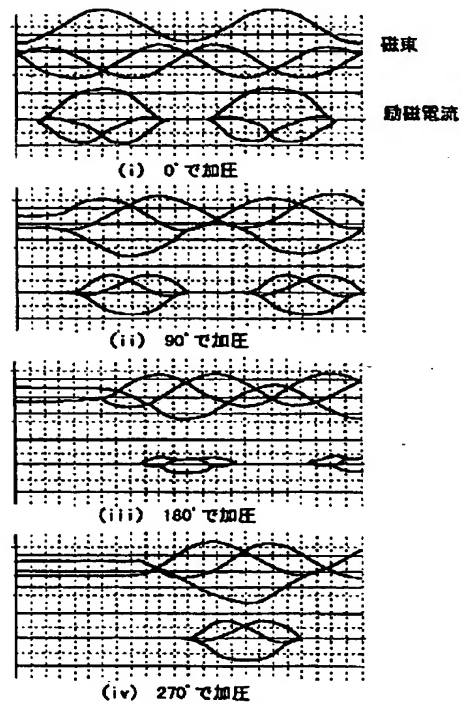
- 23…操作電圧データ
 24, 25, 26…信号処理手段
 27…制御手段
 29, 30…巻線
 31, 32…鉄心
 33…短間隙
 34…磁気センサ

【図1】

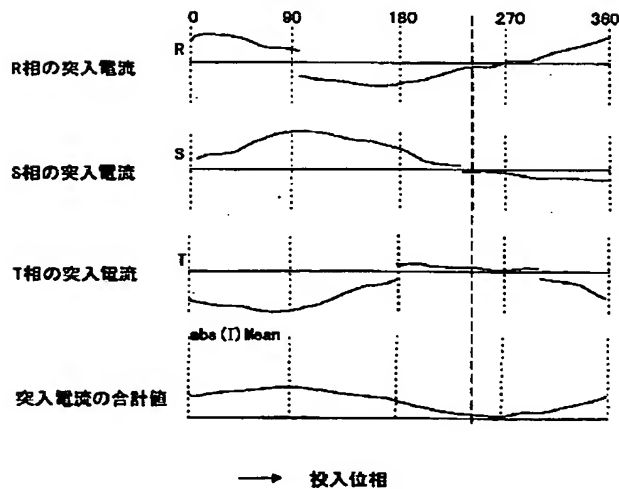


- 35…リード線
 36, 37, 38…3次側電圧
 39, 40, 41…鉄心磁束密度計算値
 42, 43, 44…積分開始の点
 45, 46, 47…3次側残留電圧
 48, 49, 50…残留磁束計算値

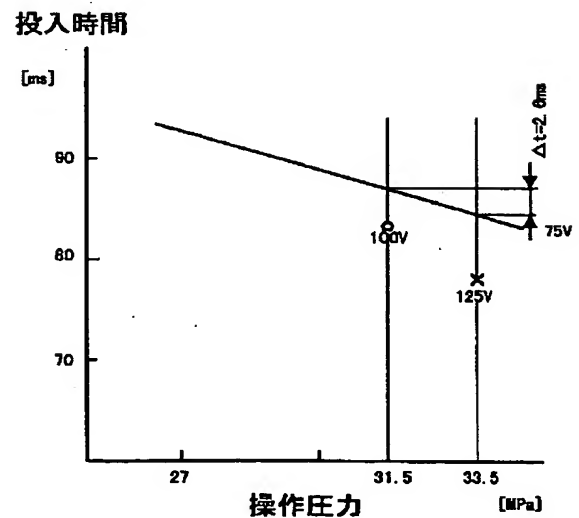
【図2】



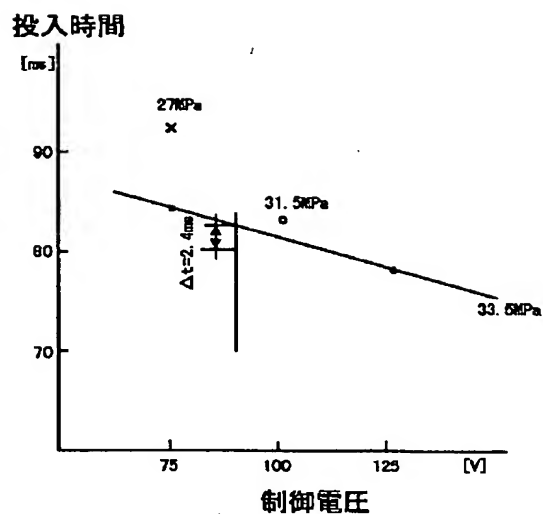
【図3】



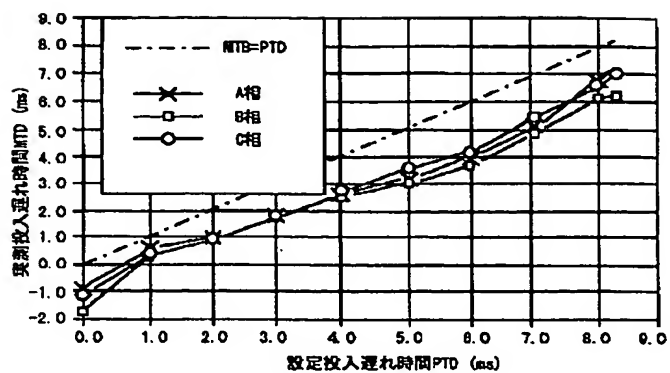
【図4】



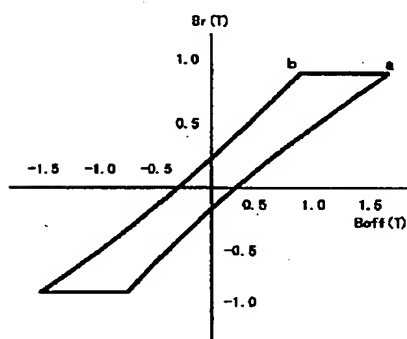
【図 5】



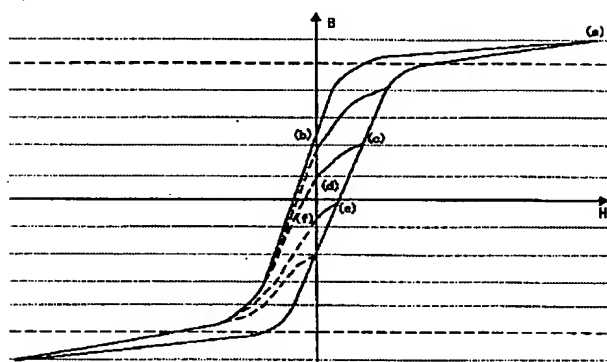
【図 6】



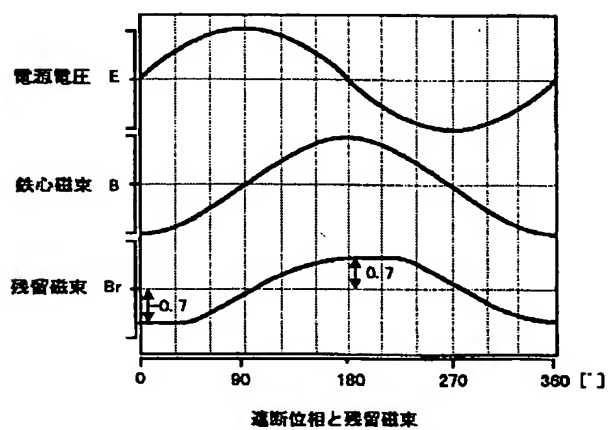
【図 8】



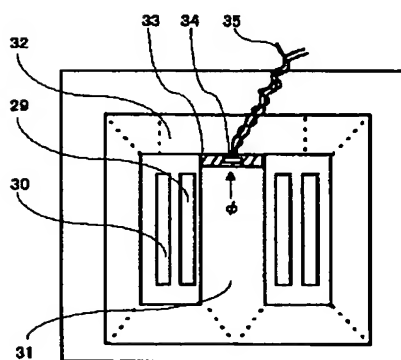
【図 7】



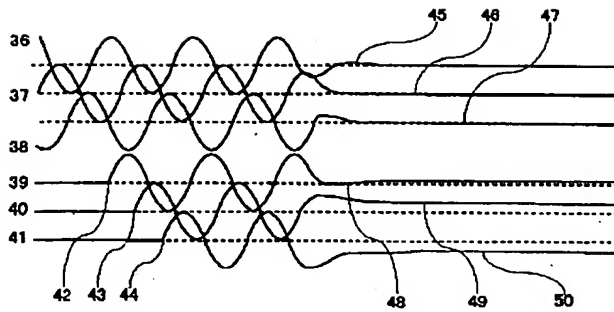
【図 9】



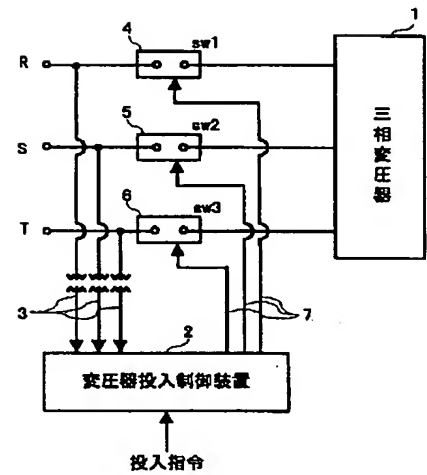
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



フロントページの続き

(72)発明者 堤 正喜
長崎県長崎市城山町 3 番 19 号 九州電力株
式会社長崎支店内
(72)発明者 宮本 剛寿
東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社
東芝本社事務所内

(72)発明者 金子 英治
神奈川県川崎市川崎区浮島町 2 番 1 号 株
式会社東芝浜川崎工場内
(72)発明者 山本 捷敏
東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社
東芝本社事務所内
(72)発明者 濱田 博信
福岡県福岡市中央区長浜二丁目 4 番 8 号
株式会社東芝九州支社内